

鋼製橋脚断面の基本寸法

2013. 2. 22

T. Y.

1. ま え が き

平成24年に発刊された道路橋示方書-Vでは、動的解析で非線形特性を算出するための「橋脚形状の制約条件」が明確に示された。

この規定は道路橋を前提に定められたものなので、上部工の軽い歩道橋・ペDESTリアンデッキ・モノレールなどの橋脚に適用すると不経済な形状を強いられかねない。とはいえ、客先によってはこれらの構造物にも同規定の適用を要求される。

その一例を右図に示すが、なんともバカげた計画で、複数の関係者の都合から桁を途中で分割し、これを支える境界部の脚(P2)にはごく薄厚の橋脚が要望されている。

これらの要求を満たすための策として講じたのが下記。

- ・ 地中深くで打留めていたP3脚の基礎を地表にまで高めて脚の有効座屈長を抑え、鋼管脚の径をφ2.0mからφ1.4mに縮小した。
- ・ P2脚を薄くするため、上端を桁とヒンジ固定してP3の剛性に頼ることで橋軸方向の脚頭変位を抑え、有効座屈長を半減した。
- ・ P2脚の面外については変位拘束を隣接脚に頼るわけにもいかず、脚断面形状の制約「 $0.5 \leq bw/bf \leq 2.0$ 」を満たしかつ座屈長を短くするため、ラーメン形式を採用している。

表-解 3.2.2 柱の有効座屈長

L: 部材長(mm)

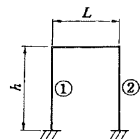
	1	2	3	4	5	6
座屈形が点線のような場合						
βの理論値	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
βの推奨値	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0

16.5.2 ラーメンの有効座屈長

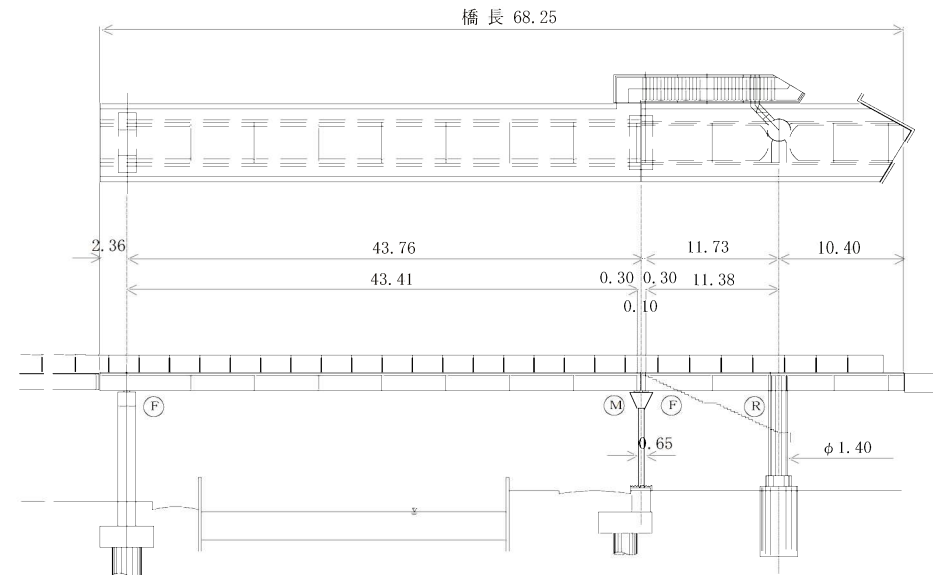
ラーメンの有効座屈長 l は、特に厳密な計算を行わない場合は、表-16.5.1 に示す値とする。

表-16.5.1 ラーメン柱の有効座屈長

部材 (図-16.5.1)	座屈形式	面内座屈	
	1層の柱 (①~⑥)	下端固定	$l = 1.5h$
下端ヒンジ		$l = 3.5h$	$k \leq 5$ $= \{3.5 + 0.2(k-5)\}h : 5 < k \leq 10$



2. 形状寸法図

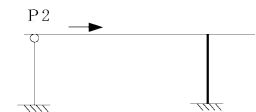


3. 有効座屈長 : l

新道示-Vの規約を遵守した中で橋脚の断面を極力小さくするため、各橋脚の有効座屈長を以下のように定めた。

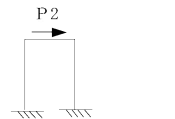
① P2橋脚橋軸方向

$l = 0.7h$ 【道示-II 表-解 3.2.2 の表内2】を採用



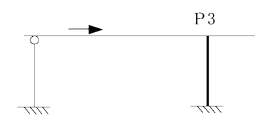
② P2橋脚橋軸直角方向

$l = 1.5h$ 【道示-II 表 16.5.1 の表内 下端固定】を採用



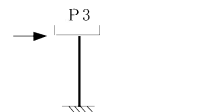
③ P3橋脚橋軸方向

$l = 1.0h$ 【道示-II 表-解 3.2.2 の表内3】を採用



④ P3橋脚橋軸直角方向

$l = 2.0h$ 【道示-II 表-解 3.2.2 の表内5】を採用



4. 形状決定計算例

(1) 円形断面の鋼製橋脚

(非線形特性算出に用いる条件) 【道示 V 11.4】による形状的条件を満たしているか否かを検討する。

円形断面

算出条件

断面の形状		鋼管	
単位系		S I 単位系	
鋼材のヤング率	E	200,000	[N/mm ²]
鋼材の材料名		SM400	
鋼材の降伏点応力度	σ_y	235	[N/mm ²]
中埋コンクリートの設計基準強度		18	[N/mm ²]
降伏ひずみ	ϵ_y	0.001175	
断面サイズ	外径	D	1,400 [mm]
	板厚	t	25.0 [mm]
	鋼材の断面積	A	107,992 [mm ²]
	鋼材の断面2次モーメント	I	25,530,000,000 [mm ⁴]
	断面2次半径	r	486.2 [mm]

※ 着色部がインプットデータ

許容ひずみ式の適用範囲判定

① 作用軸力の判定 [固定荷重載荷時の軸力]

脚柱名	降伏軸力 N _y [kN]	作用軸力(kN)		軸力判定 : 0 ≤ N/N _y ≤ 0.2			
		コンクリート 充填無し	コンクリート 充填有り	コンクリート充填無し		コンクリート充填有り	
				比率 N/N _y	判定	比率 N/N _y	判定
P3	25,378	419.2	540.0	0.02	OK	0.02	OK

軸力の符号: 圧縮(+)

② 径厚比パラメータ(Rt)の判定

橋脚	P3	コンクリート充填無し	0.03 ≤ Rt ≤ 0.08	0.0534	OK
		コンクリート充填有り	0.03 ≤ Rt ≤ 0.12	0.0534	OK

③ 細長比パラメータ(λbar)の判定

支柱部の長さh=(主桁中心~橋脚基部)

脚柱名	支柱部の長さ h [mm]	有効座屈長		細長比パラメータ判定	
		係数 β	ℓ = β h [mm]	0.2 ≤ λbar ≤ 0.4	
				λbar	判定
P3	8,545	2	17,090	0.38	OK

許容ひずみの算出式と適用範囲

コンクリートを充填しない鋼製橋脚の円形断面 【道示 V 11.4-2】

$$\text{許容歪み} : \epsilon a = \epsilon_y (20 - 140 R t) \quad \text{式(11.4.12)}$$

適用範囲

$$\begin{cases} \text{① } 0 \leq N/N_y \leq 0.2 \\ \text{② } 0.03 \leq R t \leq 0.08 \\ \text{③ } 0.2 \leq \lambda \text{bar} \leq 0.4 \end{cases}$$

コンクリートを充填した鋼製橋脚の円形断面 【道示 V 11.4-4】

$$\text{許容歪み} : \epsilon a = 5 \epsilon_y \quad \text{式(11.4.15)}$$

適用範囲

$$\begin{cases} \text{① } 0 \leq N/N_y \leq 0.2 \\ \text{② } 0.03 \leq R t \leq 0.12 \\ \text{③ } 0.2 \leq \lambda \text{bar} \leq 0.4 \end{cases}$$

・ Rt の算出式

$$R t = R / t \times \sigma_y / E \times \sqrt{3 \times (1 - \nu^2)} \quad \text{式(11.4.13)}$$

R : 板厚中心での半径 (mm)

t : 板厚 (mm)

σ_y : 鋼材の基準降伏点 (N/mm²)

E : ヤング係数 (N/mm²)

ν : ポアソン比 (0.3)

N : 作用する軸力

N_y : A_g* σ_y [鋼部材の断面積に鋼材の降伏点 σ_y を乗じた値]

・ λbar の算出式

$$\lambda \text{bar} = (1/\pi) \cdot (L/r) \cdot \sqrt{(\sigma_y/E)} \quad \text{式(11.4.11)}$$

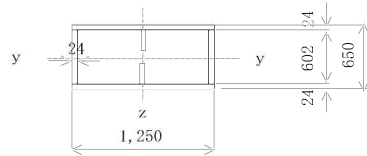
ここに、

L : 部材の有効座屈長 L = β h [鋼橋編 16.5.2]

r : 部材の総断面の断面2次半径 (mm) $r_{zp} = \sqrt{I_{zp}/A}$, $r_{yp} = \sqrt{I_{yp}/A}$

(2) 角形断面の鋼製橋脚

橋脚断面



フランジの有効幅

等価支間長: $\ell = 8.60 \text{ m}$

$$b/\ell = 625 / 8,600 = 0.0727 < 0.30$$

$$\therefore \lambda = \{1.06 - 3.2 (b/\ell) + 4.5 (b/\ell)^2\} b = 532 \text{ mm}$$

フランジの有効幅: $2 \times 532 = 1,064 \text{ mm}$

(SM400)		Ag (mm ²)	z (mm)	Iy (mm ⁴)	Iz (mm ⁴)
2- FLG PL	1064 × 24	51,072	313	5,003 × 10 ⁶	7,813 × 10 ⁶
2- WEB PL	602 × 24	28,896		873 × "	10,858 × "
		79,968		5,876 × 10 ⁶	18,671 × 10 ⁶

$$r_y = \sqrt{\frac{5,876 \times 10^6}{79,968}} = 271 \text{ mm}$$

$$r_z = \sqrt{\frac{18,671 \times 10^6}{88,896}} = 458 \text{ mm}$$

道路橋示方書・同解説 (H24) V耐震設計編		Z軸回り	Y軸回り	
断面	フランジ	B	650	[mm]
		t f	24	[mm]
	ウェブ	H	1,250	[mm]
		t w	24	[mm]
	フランジ面 縦リブ	n f	0	[個]
		B f s	0	[mm]
		t f s	0	[mm]
		n w	1	[個]
	ウェブ面 縦リブ	B w s	220	[mm]
		t w s	22	[mm]
a		4,350	[mm]	
コンクリート充填の有無		無し		
作用軸力	N	1,876,700	[N]	
有効座屈長用 柱の高さ	L	10,750	[mm]	
鋼材のヤング係数 [N/mm ²]	E	200,000	200,000	[N/mm ²]
鋼材のポアソン比	μ	0.3	0.3	
鋼材の降伏点応力 [N/mm ²]	σ_y	235	235	[N/mm ²]
鋼材の降伏ひずみ	ϵ_y	0.001175	0.001175	
鋼部材の全断面が降伏する時の軸力 (N)	Ny	18,792,480	18,792,480	[N]
鋼材の断面積 [mm ²]	A	79,968	79,968	[mm ²]
鋼材の断面2次モーメント	Iz, Iy	1.87E+10	5.88E+09	[mm ⁴]

※ 着色部がインプットデータ

許容ひずみ式適用範囲のチェック

項目番号	適用範囲	判定		算出値	Z軸回り	Y軸回り
		Z軸回り	Y軸回り			
1	$0 \leq N/N_y \leq 0.5$	OK	OK	N/Ny	0.0999	0.0999
2	$0.3 \leq R_f \leq 0.5$	OK	OK	Rf	0.4522	0.4406
3	$0.3 \leq R_r \leq 0.5$	OK	OK	Rr	0.4522	0.4515
4	$\gamma \ell / \gamma \ell^* \geq 1.0$	—	OK	$\gamma \ell / \gamma \ell^*$	—	1.1142
5	$0.2 \leq \lambda \text{ bar} \leq 0.5$	OK	OK	$\lambda \text{ bar}$	0.3641	0.3462
6	$0.5 \leq b_w / b_f \leq 2.0$	OK	OK	bw/bf	1.9967	0.5008
7	$2.5 \leq l' / b' \leq 9.0$	OK	OK	ℓ' / b'	8.9385	4.7672

記号説明と途中計算の内容

		Z軸回り	Y軸回り
Rf	耐震編の式(11.4.7) 塑性化を考慮する鋼断面の補剛板の幅厚比パラメータ $R_f = (b/t) (\sigma_y * 12(1-\mu^2) / (E * \pi^2 * k_f))^{0.5}$		
Rr	耐震編の式(11.4.6) 塑性化を考慮する鋼断面の補剛板の幅厚比パラメータ $R_r = (b/t) (\sigma_y * 12(1-\mu^2) / (E * \pi^2 * k_r))^{0.5}$		
b	補剛板の全幅(mm)	b f, b w	602
t	補剛板の板厚(mm)	t f, t w	24
B f s	縦方向補剛材の幅		220
t f s	縦方向補剛材の板厚		22
n f s	縦方向補剛材の配置数		1
a	ダイヤフラム又は十分剛な横方向補剛材の間隔(mm)		4,350
α	補剛板の縦横寸法比	a / b	7.2259
α_0	限界縦横寸法比	$(1 + n * \gamma \ell)^{0.25}$	1.0000
α'	補剛板の縦横寸法比	a / b'	4.8226
n	縦方向補剛材によって区切られるパネル数		1
$\gamma \ell$	縦方向補剛材の剛比	$(11 * B f s^3 * t f s) / (3 * b * t^3)$	0.000
$\delta \ell$	補剛材断面積比	$(B f s * t f s) / (b * t)$	0.0000
k f	座屈係数 $k_f = [(1 + \alpha^2)^2 + n \gamma \ell] / [\alpha^2 (1 + n \delta \ell)]$ ($\alpha \leq \alpha_0$) $k_f = 2 [1 + (1 + n \gamma \ell)^{0.5}] / (1 + \delta \ell)$ ($\alpha > \alpha_0$)		4.000
			54.233
k r	座屈係数 $4 n^2$		4
			16
$\gamma \ell$	鋼橋編 4.2.5 に定義する縦方向補剛材の剛比		0.000
$\gamma \ell^*$	耐震設計編の式(解 11.2.3) に定義する縦方向補剛材の剛比 $4 \alpha^2 n (1 + n \delta \ell) - (1 + \alpha^2)^2 / n$ ($\alpha \leq \alpha_0$) $1/n * [(2n^2(1 + n \delta \ell) - 1)^2 - 1]$ ($\alpha > \alpha_0$)		0.000
			-2622.86
$\lambda \text{ bar}$	鋼橋編の式(解 3.2.1) に定義する細長比パラメータ $\lambda \text{ bar} = 1/\pi * (\sigma_y/E)^{0.5} * (\ell/r)$		0.000
			46.394
β	係数		1.5
ℓ	部材の有効座屈長 $\ell = \beta \ell$ [鋼橋編 16.5.2]		16,125
r	部材の総断面の断面2次半径 (mm) $r_{zp} = (I_{zp}/A)^{0.5}$, $r_{yp} = (I_{yp}/A)^{0.5}$		483.195
			271.074
ℓ'	1/2		8,063
b'	$(b_w + b_f)/2$		902